Département de Physique

Département de Physique



Université Ibn Tofail Faculté des Sciences Kenitra
جامعة ابن طفيل كلية العلوم القنيطرة

Université Ibn Tofail
Faculté des Sciences
Département de Physique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Filière : SMP

Le rayonnement Solaire

Elaboré par:

Nezha ElGASAY
Nadia RAMI

Encadré par:

Fahoume Mounir

Soutenu le 23 Juin devant le Jury :

Nouneh Khalid	*Président*
Fahoume Mounir	*Encadrant*

Année Universitaire : 2014 – 2015

P F E

DEDICACE:

À la Vie, long chemin à tracer,

à nos père,

à nos mère,

à nos frères, _ et à nos sœurs. . . ..

Remerciements

Nous tenons à remercier Mr. Fahoume mounir, pour avoir dirigé et guidé notre PFE et pour nous avoir proposé ce sujet de recherche
Nous remercions tout d'abord Mr Nouneh Khalid, Professeur à la Faculté des Sciences de Kenitra pour avoir gentiment accepté de juger ce travail et participé à notre jury.

UNIVERSITÉ IBN TOFAIL
Département de Physique

Le rayonnement Solaire

Résumé :

Le soleil est une étoile, qui émet un rayonnement sous forme d'ondes électromagnétiques. En fonction de la longueur de ces ondes, certaines parties du rayonnement sont visibles (lumière) ou non (infrarouges, ultraviolets...), et parviennent jusqu'à la Terre. Le soleil possède les caractéristique suivant:
Diamètre : environ 1,4millions des kilomètre illies,
Distance : 150 millions des km de la terre millions de km
Masse : 3000000 fois masse de la terrefois masseois la masse de Age : 4,5 milliards année
Température de surface : 5780 kelvin
Température interne : plusieurs kelvin
Ce dernière possède une énergie importante pour nous c'est qu'il à la base de notre vie , s'appelle l'énergie solaire. ce L'énergie produite par les capteurs solaires est la production d'électricité à partir de la lumière du soleil, sa conversion est réalisée grâce à des cellules photovoltaïques. Une cellule est en fait une fine
tranche de silicium recouverte d'un maillage métallique permettant de transporter le courant produit et un panneaux de cellules photovoltaïque sont assemblées ensemble entre deux plaques de verres.

Abstract :

Le soleil est une étoile, qui émet un rayonnement sous forme d'ondes électromagnétiques. En fonction de la longueur de ces ondes, certaines parties du rayonnement sont visibles (lumière) ou non (infrarouges, ultraviolets...), et parviennent jusqu'à la Terre. Le soleil possède les caractéristique suivant:
Diamètre : environ 1,4millions des kilomètre illies,
Distance : 150 millions des km de la terre millions de km
Masse : 3000000 fois masse de la terrefois masseois la masse d 'Age : 4,5 milliards année
Température de surface : 5780 kelvin
Température interne : plusieurs kelvin

Ce dernière possède une énergie importante pour nous c'est qu'il à la base de notre vie , s'appelle l'énergie solaire. ce L'énergie produite par les capteurs solaires est la production d'électricité à partir de la lumière du soleil, sa conversion est réalisée grâce à des cellules photovoltaïques. Une cellule est en fait une fine
tranche de silicium recouverte d'un maillage métallique permettant de transporter le courant produit et un panneaux de cellules photovoltaïque sont assemblées ensemble entre deux plaques de verres. Résumée en anglais.
The sun is a star, which emits radiation in the form of electromagnetic waves. Depending on the length of these waves, portions of the radiation are visible (light) or not (infrared, ultraviolet ...), and reach up to the Earth. Le Soliel possesses the following characteristics:
Diameter: 1,4millions killométre of Illies,
Distance: 150 million km from the terremillions km
Mass: 3000000 times mass of the earth
Age: 4.5 billion year
Surface temperature: 5,780 kelvin
Internal temperature: several kelvin
This last has a significant energy ration for us is that the basis of our life, is called solar energy. The energy produced by the solar collectors is the production of electricity from sunlight, his conversion is performed through photovoltaic cells. A cell is actually a fine silicon wafer coated with a metal mesh for transporting the product stream and a photovoltaic cell panels are joined together between two glass plates.

SOMMAIRE

Dedicatory **i**

Remerciements **ii**

Abstract **iii**

Liste des Figures **vii**

Liste des Tables **viii**

1 Transfer de chaleur par rayonnement **3**
1.1 Nature du rayonnement . . . 3
1.1.1 Définition . . . 3
1.2 Grandeurs énergétiques liées au rayonnent . . . 4
1.2.1 Angle solide Ω . . . 4
1.2.2 Flux énergétique Φ : . . . 5
1.2.3 Intensité énergétique:I . . . 5
1.2.4 Luminance énergétique : L . . . 6
1.2.5 Eclairement énergétique : E (ou Irradiance) . . . 6
1.2.6 Application : Flux solaire total intercepté par la terre . . . 6

2 Les centrals solaires PV **7**
2.1 Définition . . . 7
2.2 Le panneau solaire PV . . . 7
2.2.1 Définition . . . 7
2.2.2 Fonctionnement d'un panneau solaire PV . . . 8
2.2.2.1 Principes de base . . . 8
2.2.2.2 Cellules PV: composition et principe de fonctionnement . 8
2.2.3 Les caractéristique . . . 9

3 Interaction du rayonnement solaire avec l'atmosphère **12**
3.1 Énergie absorbée par la vapeur d'eau, l'ozone et les poussières . . . 12
3.2 Réflexion par l'air . . . 12
3.3 Énergie absorbée par les nuages . . . 13
3.4 Réflexion par les nuage . . . 13
3.5 Énergie absorbée par la surface . . . 13

3.6 Émission nette de la surface aux grandes longueurs d'ondes 14
3.7 Émission nette par la vapeur d'eau,$l'O_3$, le CO_2 et les autres gaz à effet de serre 15
3.8 Flux de chaleur sensible 16
3.9 Flux de chaleur latente 16
3.10 Émission par les nuages 17
3.10.1 Le modèle du corps noir 17
3.11 Loi de Stefan-Boltzmann 19
3.12 Loi de Wien 19
3.13 Loi de Planck 20

Liste des Figures

1.1 Spectre des ondes électromagnétiques 3

Liste des Tables

1-généralité

Le soleil constitue une source d'énergie gratuite et non polluante, Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. Il produit à la lisière, mais en dehors de l'atmosphère terrestre, un éclairement énergétique à peu près constant et égal à 1 370 W/m2.
appelé de ce fait : constante solaire
Pour atteindre chaque point de la surface éclairée du globe terrestre, les rayons solaires traversent l'atmosphère qui absorbe une partie de l'énergie provenant du soleil par :
-Diffusion moléculaire (en particulier pour les radiations U.V.)
-Réflexion diffuse sur les aérosols atmosphériques (gouttelettes d'eau, poussières...)
-Absorption sélective par les gaz de l'atmosphère.
L'atténuation correspondante du rayonnement solaire dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversée, celle-ci dépendant à son tour de la latitude du lieu considéré et du temps.
Avant son arrivée dans l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est dirigé. Il se présente sous la forme d'un faisceau à peu près parallèle. Seule une partie de ce rayonnement direct traverse l'atmosphère et atteint le sol. Une autre partie du rayonnement est diffusée et répartie à peu près uniformément dans toutes les directions de l'espace.
A la surface de la terre, le rayonnement solaire global est la somme des rayonnements:
-direct, ayant traversé l'atmosphère,
-diffus, en provenance de toutes les directions de la voûte céleste.

2-Historique

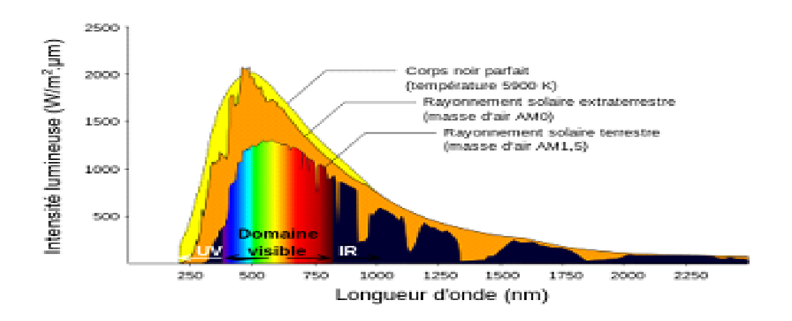
Bien que les rayons du soleil soient observés (voire même adorés) depuis la nuit des temps, la composition de ce rayonnement ne commence à être étudiée qu'à partir du XVIIe siècle. Dans les années 1660, Isaac Newton (1643-1727) décompose le rayonnement solaire en un spectre de couleurs, en le faisant passer à travers un prisme. Il estime alors que le rayonnement est composé de particules (théorie corpusculaire), au contraire de son contemporain Christiaan Huygens, qui le visualise sous forme d'ondes (théorie ondulatoire). Au XIXe siècle, la théorie ondulatoire de la lumière s'impose aux dépens de la théorie corpusculaire. Cependant, au début du XXe siècle, Albert Einstein (1879-1955) découvre que, si les rayons se diffusent bien sous forme d'ondes, ils sont aussi composés de particules d'énergie, les photons. On parle désormais de dualité onde-corpuscule .
Les infrarouges et les ultraviolets sont découverts respectivement par l'Allemand William Herschel (1738-1822) en 1800, et par son compatriote Johann Wilhelm Ritter (1776-1810)

peu de temps après. L'effet photovoltaïque, découvert en 1839 par le français Antoine-César Becquerel.
En 1883, l'Américain Charles Frittes construit la première cellule photovoltaïque au sélénium. Dès la fin des années 1950, les cellules photovoltaïques sont utilisées sur les satellites. La première maison équipée de telles cellules date de 1973, et la première calculatrice solaire de 1976.

3-Définition

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées.

- composition



convenablement modélisée par un corps noir à 5 900 kelvins, et peut donc être décrit par la loi de Planck. Le maximum d'émission est dans le vert (λ =504 nm), et la répartition du rayonnement est à peu près pour moitié dans la lumière visible, pour moitié dans l'infrarouge, avec 1 % d'ultraviolets. Arrivé au niveau de la mer, c'est-à-dire ayant traversé toute l'atmosphère terrestre, une partie du rayonnement solaire a été absorbée. On peut repérer notamment sur le spectre ci-contre les bandes d'absorption de l'ozone (qui absorbe une partie importante des ultraviolets), du dioxygène, du dioxyde de carbone et de l'eau.

Chapitre 1

Transfer de chaleur par rayonnement

1.1 Nature du rayonnement

1.1.1 Définition

- Rayonnement électromagnétique

On appelle ainsi tout rayonnement provoqué par une excitation quelconque de la matière
Sa vitesse est :

dans le vide est $C = 3.10^8 m/s$
dans un milieu d'indice n, $C = C^0/n$
Le rayonnement électromagnétique est constitué de radiations monochromatique caractérisées par une longueur d'onde λ ou fréquence ν tel que : $C = \lambda.\nu$

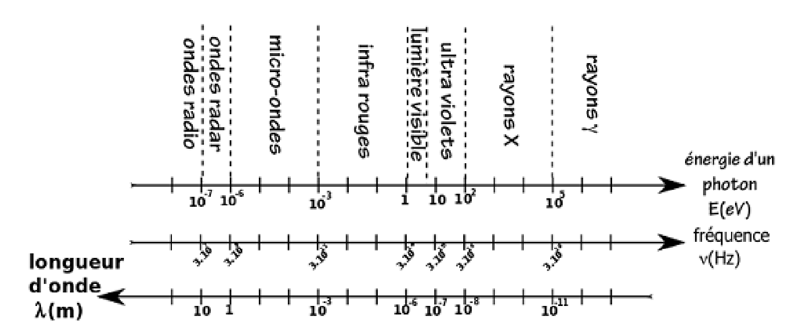


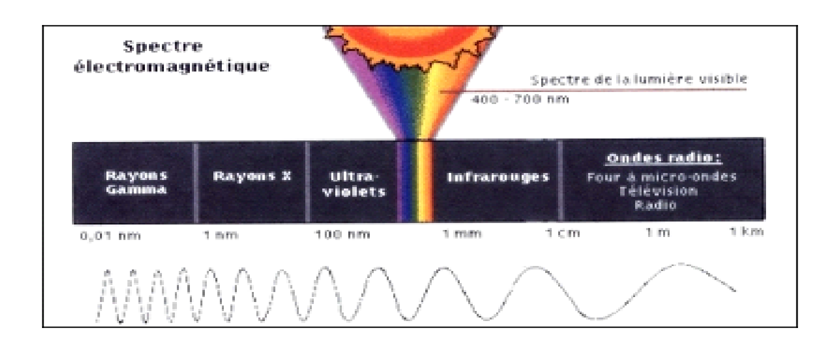
Figure 1.1: Spectre des ondes électromagnétiques

- Rayonnement thermique

Correspond à l'émission due à une augmentation de température d'un corps composé de radiations de longueurs d'ondes.

- Rayonnement salaire

Le rayonnement solaire recouvre une gamme assez large de longueurs d'onde, depuis les ondes radio(grande longueur d'onde) jusqu'aux rayons X(petite longueur d'onde). Il présente un maximum vers 410 nm.
L'œil humain n'est cependant sensible qu'à une petite partie du spectre solaire : le rayonnement visible est compris entre 400 et 800 nm(du violet au rouge).
La lumière visible est une fenêtre étroite (0,4 à 0,8 μm)
Encadrée par les rayons thermiques U.V (0,1à0,4 μm)
Et le rayonnement infrarouge (0,8à100 μm)



1.2 Grandeurs énergétiques liées au rayonnent

Dans un milieu transparent et homogène, le rayonnement se propage en ligne droite. Nous considérons qu'une quantité d'énergie Q se propage sous forme de rayonnement électromagnétique, selon des rayons de propagation.

1.2.1 Angle solide Ω

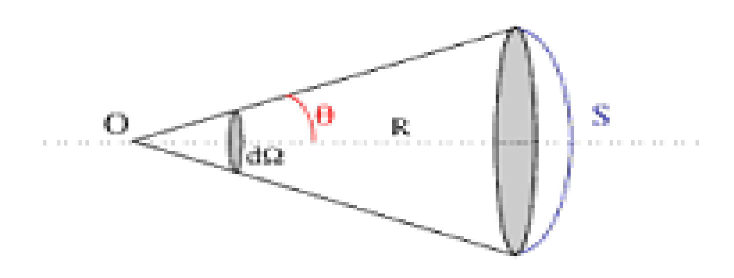
En géométrie plane, on caractérise la portion de plan comprise entre deux demi-droites Ox et Oy par l'angle : $\theta = dl/R$.

Pour calculer l'angle solide sous lequel on voit un objet à partir d'un point donné on Project l'objet sur une sphère de rayon R centrée en ce point.

Si la surface que cette projection fait sur la sphère est S l'angle solide sous lequel l'observateur voit l'objet est, par définition :

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

Avec : Ω: en stéradian (sr)
S : en mètre carré (m2)
R : en mètre (m)



1.2.2 Flux énergétique Φ :

Le flux énergétique de rayonnement, c'est la puissance émise par une source, transportée par un faisceau ou reçue par une surface sous forme de rayonnement, et on l'exprime en Watts (w)

$$d\Phi = dQ/dt$$

1.2.3 Intensité énergétique:I

L'intensité I d'un faisceau ou d'une source dans une direction donnée est le quotient d'une portion d du flux émis par la source dans une direction considérée, dans un cône infiniment petit, axé sur cette direction, par l'angle solide élémentaire d déterminé par ce cône :

$$I = d\Phi/d\Omega (W.sr^{-1})$$

1.2.4 Luminance énergétique : L

La luminance du point O situé dans un élément dS d'une source, dans une direction faisant un angle θ avec la normale à dS est égale au quotient de l'intensité dI en ce point par l'aire de la projection de dS perpendiculairement à cette direction:

$L = dI/dScos(\theta) = d2/d(\theta)(W.m^{-2}.sr^{-1})$

1.2.5 Eclairement énergétique : E (ou Irradiance)

L'éclairement énergétique E en un point d'une surface réceptrice est le quotient du flux réceptrice est le quotient du flux reçu par un élément infiniment petit entourant le point, par l'aire de cet élément : $E = d\Phi/dS(W.m^{-2})$

1.2.6 Application : Flux solaire total intercepté par la terre

Le flux total rayonné par le soleil de rayon rs dans toutes les directions est : $\Phi = M.S_{soleil} = M.4\pi r^2_{sphere}$ .Ce flux est intercepté par la surface interne de la sphère de centre le soleil, de rayon do et de surface : $S_{Sphère} = 4\pi d_o^2$. L'éclairement total de cette sphère est : $E = /S_{sphère} = M.S_{Soleil}/S_{Sphère}$
La surface apparente de la terre est le disque de la surface S_t est: $S_t = \pi.r_t^2$

$E_{Terre} = E_{Total}.S_t = M.(S_{Soleil}/S_{Sphère}).S_t$

$E_{Terre} = M(4\pi r^{2s}/4d_o^2).\pi r_t^2 = (M/\pi).(\pi r_s^2).(\pi r_t^2/d_o^2)$
$E_{Terre} = L.S.\Omega$
avec: M/π : Luminance du soleil en $w.m^{-2}.sr^{-1}$ ss Luminance du soleil
πr_s^2 : surface apparente du soleil en m^{-2}
$\pi r_t^2/d_o^2$: ongle solide sous lequel la terre est vue, en sr

Chapitre 2

Les centrals solaires PV

2.1 Définition

Une central solaire photovoltaïque est un ensemble destinée à la production d'électricité. Elle est constituée de modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau. Les centrals solaires sont de plus en plus puissantes (plus de 100 MW en 2012). À l'opposé, les systèmes solaires photovoltaïques autonomes sont destinés à l'alimentation en électricité de bâtiments ou d'installations isolées, ils ont des puissances généralement inférieures à 100 kW.



2.2 Le panneau solaire PV

2.2.1 Définition

Un panneau solaire photovoltaïque est constitué des cellules photovoltaïques rassemblés et câblés en série ou en parallèle. Les panneaux solaires photovoltaïques sont aussi appelés modules photovoltaïques. Les panneaux solaires photovoltaïques convertissent la lumière en électricité.

2.2.2 Fonctionnement d'un panneau solaire PV

2.2.2.1 Principes de base

- Un panneau solaire convertit l'énergie lumineuse en énergie solaire.
- Il est composé de cellules photovoltaïques elles même constituées de matériaux semi-conducteurs qui conduisent moyennement l'électricité .
- Ces matériaux peuvent libérer leurs électrons sous l'effet de l'énergie lumineuse (photons).
- C'est la libération de ces électrons qui produit le courant électrique.
- Photon: Particule élémentaire qui constitue le rayonnement électromagnétique comme celui de la lumière visible.

2.2.2.2 Cellules PV: composition et principe de fonctionnement

Elles sont composées de matériaux semi-conducteur à base de silicium, de sulfure de cadmium et de tellure cadmium.
Il y a en effet de plaques finie (couche inférieure et couche supérieure) pour un contact étroit.

- La couche supérieure de la cellule est constituée de silicium et d'autres éléments possédant plus d'électrons qu'une couche de silicium pure. C'est un semi-conducteur de type N.
- La couche inférieure de la cellule est constituée de silicium et d'autres éléments possédant moins d'électrons qu'une couche de silicium pure. C'est un semi-conducteur de type P.

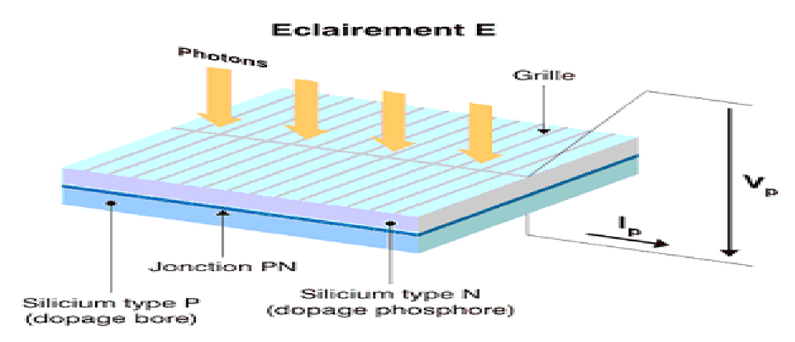
Pour qui' il y ait une conduction, il faut une jonction de couches P et N qui se fait lors des expositions au soleil et créée donc un courant électrique. les "grains" de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant.

existe 3 types de cellules photovoltaïques, qui varient selon la qualité du silicium :
les cellules monocristallines : le rendement est très bon (15 à 22 %) mais le coût de fabrication est élevé.

les cellules poly cristallines : elles sont moins chères à fabriquer mais le rendement est un peu moins bon (10 à 13%).
les cellules amorphes : leur coût est très faible mais le rendement l'est aussi (5 à 10 %).

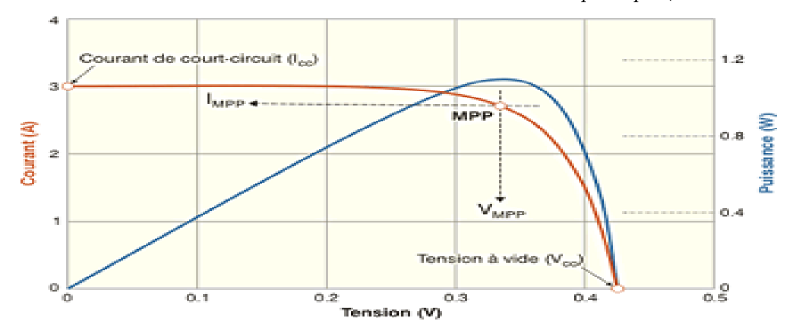
2.2.3 Les caractéristique

Caractéristique IV



Sous un éclairement E donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe:

- Sa tension à vide : V_{co}. Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.
- Son courant court-circuit: I_{cc}. Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.
- Son point de puissance maximal: M_{pp} (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt},I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp}, I_{mpp}).



La puissance

La puissance de production photovoltaïque s'exprime en Kilowatts-crête (kWc).
La puissance crête (Pc ou Wc) est la puissance maximal que peut fournir la cellule

dans des conditions optimales d'ensoleillement: 1000W/m2 à 25 degree C.
une surface exposée au soleil reçoit à un instant donné, un rayonnement solaire en W/m2, qui est un flux d'une puissance par unité de surface. Ce flux produit une énergie journalière en Wh/m2 par jour. Les constructeurs spécifient toujours la puissance de crête d'un panneau solaire PV.
Cependant cette puissance est souvent inférieur à 1000 W/m2 et la température des panneaux en plein soleil dépasse largement les 25 degree C .

Le Rendement

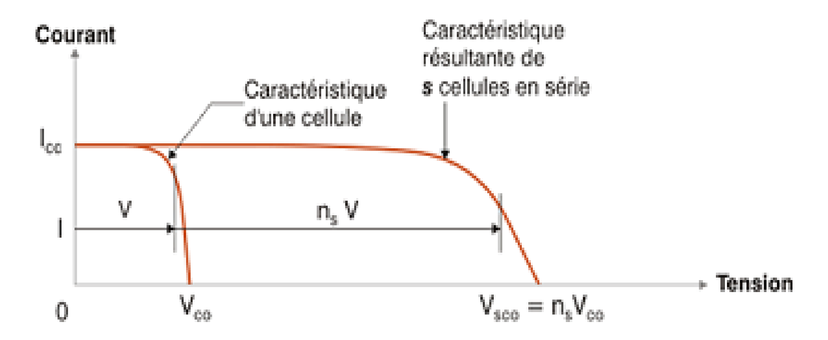
c'est le rapport entre la puissance utile Pu (la puissance électrique que fournit la cellule) et la puissance reçue Pr (la puissance lumineuse que reçoit la cellule).

$$\eta = P_u/P_r$$

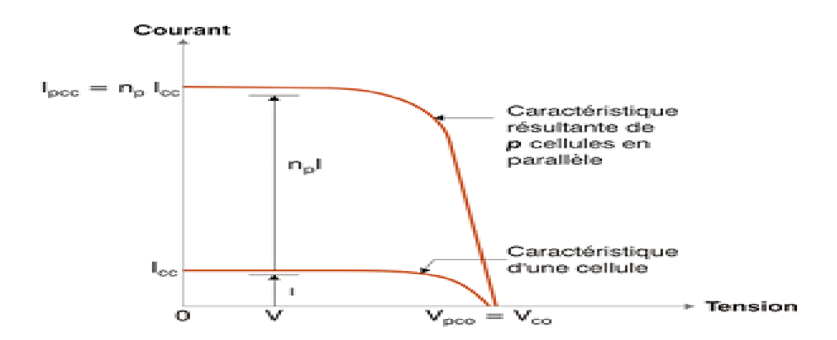
Cette grandeur est sans unité, et peut s'exprimer en%.
Un rendement de 10% signifie que pour une puissance de 1000 W qui arriverait sur le panneau, celui-ci produirait 100 W.

Groupement de cellule

Une cellule constitue donc un générateur de très faible puissance, insuffisant pour des applications électriques.
Les modules ou panneaux solaires sont donc réalisés par association, en série ou en parallèle, de cellules élémentaires. La connexion en série augmente la tension pour un même courant.

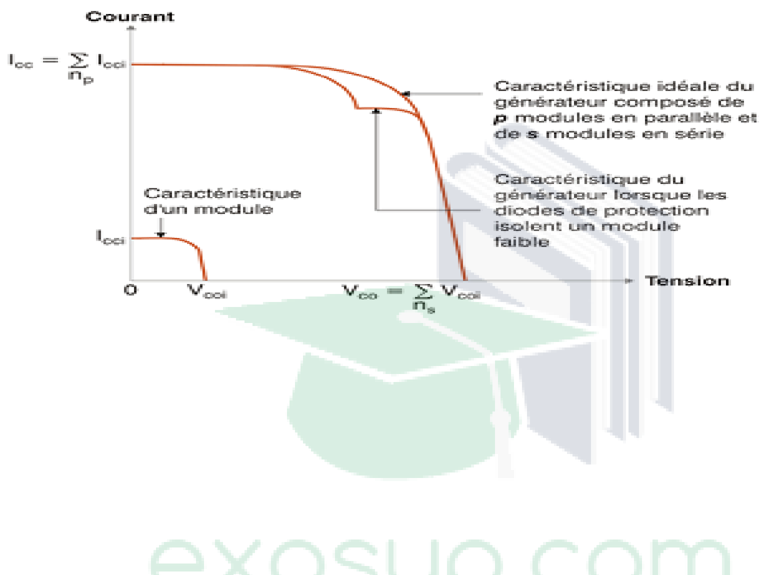


La connexion en parallèle augmente le courant pour une tension identique



Les caractéristiques globales d'un panneau PV se déduisent donc d'une combinaison des caractéristiques des constituants des $n_s * n_p$.

C'est la caractéristique du panneau donc de l'association des cellules que l'on peut relever. . .



Chapitre 3

Interaction du rayonnement solaire avec l'atmosphère

Bilan radiatif de la terre

3.1 Énergie absorbée par la vapeur d'eau, l'ozone et les poussières

Au fur et à mesure de leur pénétration dans l'atmosphère, les photons solaires entrent en collision avec des molécules atmosphériques et sont progressivement absorbés. Dans la mésosphère, c'est l'oxygène qui absorbe les radiations les plus énergétiques. Dans la stratosphère, l'absorption des radiations ultraviolettes est assurée par différentes bandes d'absorption de l'ozone. Enfin, les bandes de Chappuis de l'ozone absorbent les radiations visibles jusque dans la troposphère. L'absorption des radiations du proche infrarouge a lieu dans la troposphère principalement par la vapeur d'eau.
L'absorption de la lumière visible réchauffe directement l'atmosphère. L'absorption par l'ozone des radiations ultraviolettes est la principale source de chaleur dans la stratosphère. L'échauffement est maximal à la stratopause. Il peut atteindre 18 K/jour près du pôle d'été. La troposphère est réchauffée principalement par les bandes d'absorption de H_20 dans le visible et proche infra-rouge.

3.2 Réflexion par l'air

Il s'agit de la diffusion de la lumière du soleil par les molécules atmosphériques et par les particules les plus fines de l'atmosphère, une partie des cette diffusion se

trouvant réfléchie vers l'espace. Ces cibles diffusantes étant de petite taille devant la longueur d'onde lumineuse, on parle de diffusion de Rayleigh. Une partie de cette lumière est diffusée vers la Terre (c'est pourquoi nous voyons le ciel bleu), une autre est diffusée vers l'espace. C'est cette partie qui constitue le flux lumineux réfléchi par l'air. Il représente la contribution de l'air à l'albedo planétaire auquel s'ajoute le flux réfléchi par les nuages et le flux réfléchi par la surface. La valeur de ce flux varie peu sauf si l'atmosphère est particulièrement chargée en fines particules.

3.3 Énergie absorbée par les nuages

Il s'agit du flux d'énergie solaire absorbé par les gouttelettes d'eau présentes dans les nuage
Ce flux d'énergie absorbé est faible et dépend de la teneur en eau du nuage.

3.4 Réflexion par les nuage

En réalité il s'agit de la diffusion de la lumière du soleil par les gouttelettes d'eau. Les particules étant grandes devant la longueur d'onde lumineuse, on parle de diffusion de Mie. Une partie de cette lumière est diffusée vers la Terre (c'est pourquoi nous voyons les nuages blanc-gris), une autre est diffusée vers l'espace. C'est cette partie qui constitue le flux lumineux réfléchi par les nuages. Il représente la contribution des nuages à l'albedo planétaire auquel s'ajoute le flux réfléchi par les molécules atmosphériques et les petites poussières et le flux réfléchi par la surface. La valeur de ce flux varie beaucoup suivant le contenu en eau du nuage. Les cumulonimbus chargés d'eau diffusent beaucoup la lumière et apportent une forte contribution à l'albédo planétaire. En revanche, les cirrus fins composés de cristaux de glace réfléchissent peu la lumière visible.

3.5 Énergie absorbée par la surface

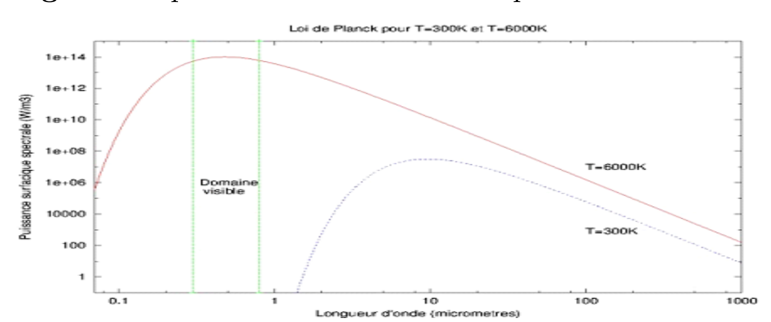
La surface terrestre n'absorbe qu'environ 50% de l'énergie solaire incidente au sommet de l'atmosphère. L'autre partie est soit absorbée par les composants de l'atmosphère soit diffusée. L'énergie radiative incidente à la surface est transformée en énergie interne et réchauffe la Terre.
On remarque que la surface terrestre ne peut être considérée comme un corps noir puisqu'elle n'absorbe pas toute l'énergie incidente : sur les 55 W incidents, 4 sont

réfléchis et 51 sont absorbés. On rappelle que par définition un Corps Noir absorbe toute l'énergie incidente.
La valeur de ce flux varie suivant le flux incident à la surface qui dépend notamment de la couverture nuageuse. Il dépend aussi de la nature de la surface : une surface gelée réfléchit plus la lumière visible si bien que l'énergie absorbée est plus faible. Ainsi, sur les 340 W/m^2 (1/4 de la constante solaire) arrivant au sommet de l'atmosphère, seuls 51

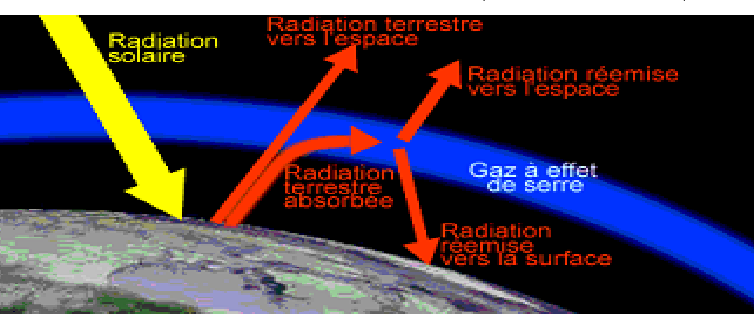
3.6 Émission nette de la surface aux grandes longueurs d'ondes

Il s'agit du flux énergétique net émis sous forme de rayonnement énergétique (infrarouge) par la surface terrestre.

Figure 4. Spectres d'émission de 2 corps noirs



La surface terrestre qui absorbe comme un corps réel ou corps gris doit réémettre les 51 W absorbés pour être en équilibre radiatif. Une partie de cette énergie est émise sous forme de rayonnement lumineux dans un domaine de longueurs d'ondes donné par la loi de Wien. Puisque le température de la Terre est d'environ 300K, elle émet dans le domaine infrarouge (autour de 10 m).



Sur les 21 W nets émis à la surface, seuls 35 % sont directement émis vers l'espace. 65 % sont absorbés par la vapeur d'eau, les molécules de gaz carboniques et des autres gaz à effet de serre. Ces molécules absorbent dans le domaine d'émission de la Terre puis réémettent à des longueurs d'onde légèrement plus élevées cette

énergie vers l'espace et vers la Terre. Ces radiations émises vers la Terre la réchauffe et augmente la température de la surface terrestre de 32C (de -18 C à 15 C). On parle de flux net car il s'agit de la différence entre la totalité du flux émis et le flux réémis par les gaz à effet de serre vers la surface terrestre.

3.7 Émission nette par la vapeur d'eau,$l'O_3$, le CO_2 et les autres gaz à effet de serre

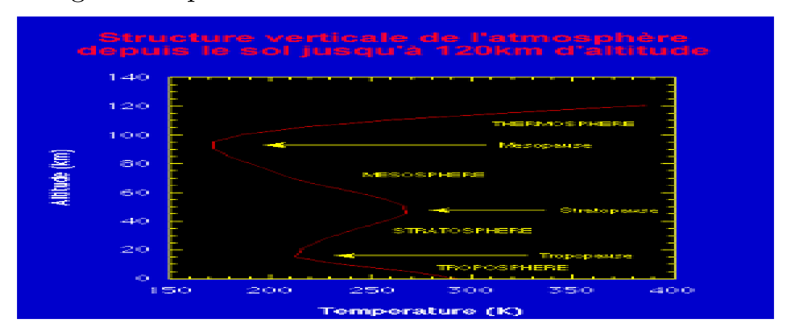
Il s'agit du flux énergétique net émis sous forme de rayonnement énergétique (infrarouge) par l'ensemble des molécules de l'atmosphère. L'émission infrarouge est associée à un refroidissement local. Comme le Corps Noir, les molécules émettent un rayonnement pour se refroidir et équilibrer l'énergie absorbée. L'émission n'a lieu que dans les bandes d'absorption (ou d'émission). Il faut donc que la température locale soit celle du Corps Noir émettant à la longueur d'onde de la bande d'émission. Ainsi, plus on descend dans l'atmosphère plus l'émission se fera par les bandes centrées sur de faibles longueurs d'onde. Émission IR et refroidissement atmosphériques sont donc intimement liés :

Figure 5. Refroidissement infrarouge en fonction de l'altitude

refroidissement est associé à l'émission par la bande située à 15 m. Dans la haute stratosphère,la bande d'émission de l'ozone à 9,6 m permet émission IR et refroidissement atmosphérique. Cependant l'ozone absorbe principalement les radiations solaires et ne peut être considérée comme un gaz à effet de serre. La vapeur d'eau émet également dans la stratosphère dans la bande à 8 m. La troposphère est principalement refroidie par l'émission de la vapeur d'eau dans la bande située à 6,3 m.

3.8 Flux de chaleur sensible

Le flux de chaleur sensible entre la surface terrestre et l'atmosphère correspond à la quantité de chaleur échangée par conduction. La troposphère n'est que très faiblement chauffée par les radiations solaires. Elle reçoit la majeure partie de son énergie de la part de la Terre.



les basses couches vers les hautes couches troposphériques. Le couplage de ces 2 processus maintient un gradient vertical de température de l'ordre de -10C/km (gradient adiabatique sec). En absence de convection, la température de surface et la température des basses couches atmosphériques Ce processus réchauffe donc uniquement les basses couches atmosphériques. La convection assure ensuite le transport de chaleur vertical depuis serait plus élevée (de l'ordre de 35C).

3.9 Flux de chaleur latente

On appelle chaleur latente l'énergie échangée lors d'un changement de phase d'un corps pur. Dans le système climatique, il s'agit toujours des changements d'états de l'eau. Il faut distinguer les 2 étapes suivantes :

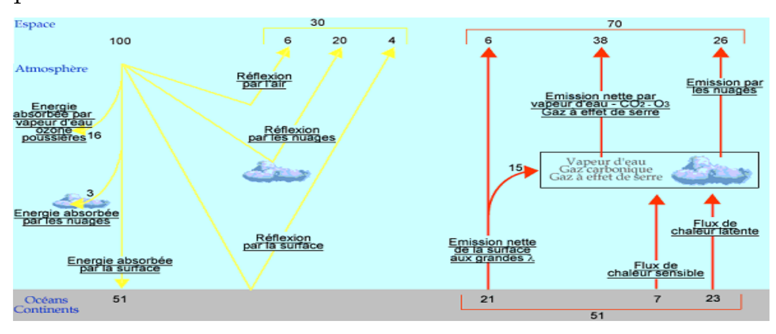
- Évaporation à la surface des océans. Ce processus refroidit la surface océaniques et introduit de la vapeur d'eau dans l'atmosphère.
- Condensation dans les nuages. Lors de la convection, la pression partielle de la vapeur d'eau atteint progressivement la valeur de la pression de vapeur saturante. Il y a alors condensation en eau liquide et libération de chaleur qui réchauffe l'atmosphère.

Le flux de chaleur latente entre la surface et l'atmosphère est donc associé à la quantité de vapeur d'eau introduite dans l'atmosphère. La chaleur ne sera libérée qu'ultérieurement lors de la condensation. D'où l'appellation de chaleur latente (qui se manifeste plus tard).

3.10 Émission par les nuages

Les nuages gagnent de l'énergie en absorbant une faible fraction du rayonnement solaire (3 %), en absorbant le rayonnement tellurique terrestre et lors de la condensation de la vapeur d'eau. Ils perdent à leur tous de l'énergie en émettant comme des Corps Noirs à leur température soit entre 10 et 13 m.

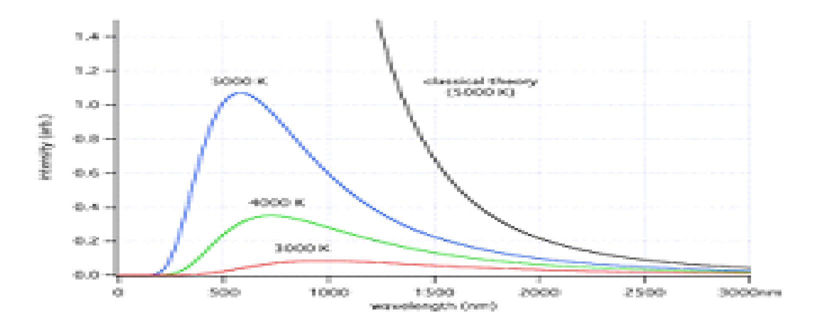
Figure 1. Les transformations de l'énergie solaire incidente, rappelle des différents processus du bilan radiatif terrestre



Corps noir

En physique, un corps noir désigne un objet idéal dont le spectre électromagnétique ne dépend que de sa température.
Le nom corps noir a été introduit par le physicien Gustav Kirchhoff en 1862. Le modèle du corps noir permit à Max Planck de découvrir la quantification des interactions électromagnétiques, qui fut un des fondements de la physique quantique.

3.10.1 Le modèle du corps noir



Exemples de spectres de corps noir, sur un diagramme de l'énergie en fonction de la longueur d'onde. Quand la température est élevée, le pic de la courbe se déplace vers les courtes longueurs d'ondes, et inversement pour les plus basses températures. La courbe en noir indique la prédiction de la théorie dite classique, par opposition à la théorie quantique, qui seule prédit la forme correcte des courbes

effectivement observées.
Le corps noir est un objet idéal qui absorberait toute l'énergie électromagnétique qu'il recevrait, sans en réfléchir ni en transmettre. Il n'est fait aucune autre hypothèse sur la nature de l'objet.
La lumière étant un rayonnement électromagnétique, elle est absorbée totalement et l'objet éclairé devrait donc apparaître noir, d'où son nom. Cependant, un corps noir peut émettre de la lumière s'il a une température suffisamment élevée, il n'apparaîtra donc pas noir dans toutes les conditions.

- La manière de reproduire le plus fidèlement les caractéristiques d'un corps noir est de percer un trou de très petite taille dans une cavité. Ainsi, tout rayonnement traversant cette ouverture subit de multiples diffusions sur les parois internes, maximisant la probabilité d'absorption. La surface immatérielle du trou semble totalement noire lorsque la température interne est suffisamment basse.

  Afin de pouvoir étudier le rayonnement du corps noir, un système de chauffage permet d'ajuster la température, la cavité pouvant alors être comparée à un four. C'est d'ailleurs un four qui fut utilisé par Wien pour déterminer les lois d'émission électromagnétique en fonction de la température. Les parois de l'intérieur de l'enceinte émettent un rayonnement à toutes les longueurs d'ondes : théoriquement des ondes radio aux rayons X. Cette émission est due à l'agitation des atomes. En effet, la température mesure l'agitation des atomes .Ce faisant, chaque atome se comporte comme un dipôle électrostatique vibrant (dipôle formé par le noyau et le nuage électronique), qui rayonne donc de l'énergie.
  Chaque paroi du four émet et absorbe du rayonnement. Il y a ainsi échange d'énergie entre les parois, jusqu'à ce que l'objet atteigne l'équilibre thermique. La répartition de la quantité d'énergie émise, en fonction de la longueur d'onde, forme le spectre. Celui-ci est la signature d'un rayonnement purement thermique. On l'appelle spectre du corps noir et il ne dépend que de la température du four.

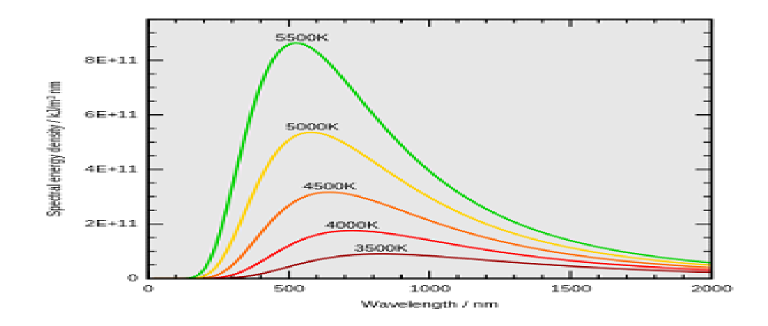
Les lois du corps noir

3.11 Loi de Stefan-Boltzmann

D'après la loi de Stefan-Boltzmann, la densité de flux d'énergie ou densité de puissance ou émittance énergétique M(T) (en W m-2) émis par le corps noir varie en fonction de la température absolue T (exprimée en kelvin) selon la formule :
$M(T) = \sigma T^4$

où σ est la constante de Stefan-Boltzmann qui vaut environ $5,67.10-8Wm^{-2}K^{-4}$.

3.12 Loi de Wien



Le maximum de ce spectre est donné par la

$$\lambda_{max} = \frac{hc}{4.965.k_B.T} = \frac{2.898.10^{-3}}{T} \quad (3.1)$$

avec λ_{max} en mètres et T en kelvins.
Ce dernière loi exprime le fait que pour un corps noir, le produit de la température et de la longueur d'onde du pic de la courbe est toujours égal à une constante. Ce loi très simple permet ainsi de connaître la température d'un corps assimilé à un corps noir par la seule position de son maximum.

3.13 Loi de Planck

La luminance monochromatique (ou spectrale) L_λ pour une longueur d'onde λdonnée (ou densité spectrale d'émission) du corps noir est donnée par la loi de Planck :

$$L^o_\lambda = \frac{2.hc^2}{\lambda^5} . \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda.K_B.T}} - 1}$$

(3.2)

$c = 3.10 m.s^{-1}$: vitesse de la lumière dans le vide
h =6,623* 10-34 j.s : constante de Planck
$k_B = 1.38 * 10 - 23 j.k^{-1}$: constante de Boltzmann.

Conclusion

Le rayonnement solaire est majeure pour la vie sur terre . Il est en effet :

- source d'énergie solaire, énergie rayonnante qui rend possible la vie sur Terre d'une part par apport d'énergie thermique (chaleur, qui permet la présence d'eau à l'état liquide et de vapeur) et d'autre part en tant que source d'énergie lumineuse (lumière) ;
- nécessaire à la photosynthèse (utilisée par les végétaux, mais aussi par les lichens et certains micro-organismes).
- les UV solaires sont nécessaires à la synthèse de la vitamine D;
- les UV solaires contribuent aussi à détruire une partie des microbes vivants ou survivants ou ayant contaminé des eaux de baignades ou eaux susceptibles d'être utilisées comme eau potable ou d'irrigation, avec une efficacité moindre dans les eaux turbides, ou rendues turbides par les activité humaines.



Bibliographie

– http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement$_s$*olairehttp : //www.futura−sciences.com/mag*

– http://www.fsr.ac.ma/cours/physique/bargach/Chap5.pdf

– fr.wikipedia.org/wiki/Angle$_s$*olidefr.wikipedia.org/wiki/Cellule*$_p$*hotovoltaïque*

– www.electroenergy.fr/les-panneaux-photovoltaiques

– http://www.energieplus-lesite.be/index.php

– http://www.dictionnaire environnement.com/panneau$_s$*olaire*$_p$*hotovoltaique*$_I$*D*925.*htmlhttp* : *//www.photovoltaique.info/Rendement − d − un − systemehtml*

– planet-terre.ens-lyon.fr/article/bilan-radiatif-terre3.xml

– https://fr.wikipedia.org/wiki/Corps$_n$*oirhttp* : *//www.astrosurf.com/luxorion/corpsnoir− etoiles.htm*[*archive*

– https://fr.wikiversity.org/wiki/Rayonnement$_d$*u*$_c$*orps*$_n$*oir/Dfr.wikiversity.org/wiki/Rayonnement*$_d$*u*

– acces.ens-lyon.fr/clea/lunap/CorpsNoir/CNApprof.html

– culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/CorpsNoir.xml